

Ciencias de materiales aplicada al Patrimonio. CEMAPA

M.T. Blanco Varela, M.I. Sánchez de Rojas, S. Martínez Ramírez, P. Carmona Quiroga, M. Frías, A.M. Guerrero, F. Puertas, V. Azorín
Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción

A finales de los años 80 el grupo comenzó su andadura en la investigación relacionada con la conservación del Patrimonio Histórico Cultural, mediante su participación en el programa EUROCORE. Desde entonces y hasta la actualidad hemos ejecutado diversos proyectos de investigación financiados por CICYT, UE, CCAA así como por Patronatos o por empresas responsables de la restauración de algún bien cultural concreto.

El grupo ha trabajado en el diagnóstico de más de 40 monumentos, participando siempre en equipos multidisciplinares bien nacionales o internacionales de investigadores y restauradores, lo que me ha permitido conocer las necesidades de los arquitectos, arqueólogos y restauradores en lo referente al conocimiento científico de los problemas y de desarrollo de nuevos materiales y tratamientos aplicados a la conservación de los materiales constitutivos de Patrimonio Histórico y Cultural.

El grupo trabaja en tres líneas fundamentales: a) diagnóstico del estado de conservación de morteros y hormigones del patrimonio; b) desarrollo de morteros de reparación; c) desarrollo y validación de productos de conservación de materiales pétreos.

Estado de conservación de morteros y hormigones del Patrimonio

Los morteros y hormigones, son materiales de construcción cuyos principales componentes son el ligante, el árido y el agua. En algunos casos y con el fin de mejorar sus propiedades se le añaden diferentes adiciones minerales (puzolanas, materiales cerámicos, etc.) o aditivos. Los morteros se emplean con una doble función: a) como revestimiento de superficies débiles tales como columnas, paredes, etc.; b) como material de unión, ya sea entre ladrillos, sillares, etc.

Las propiedades y durabilidad de los morteros dependen en gran medida de la naturaleza del ligante, y de la tecnología de preparación. La determinación de la naturaleza del ligante es el primer paso a dar en una fase de diagnóstico. A finales de los años 90 participamos en un proyecto europeo en el que desarrollamos y validamos un procedimiento de análisis que permite identificar y diferenciar los distintos conglomerantes hidráulicos presentes en morteros históricos. Posteriormente y teniendo en cuenta la bibliografía este procedimiento se completó diferenciando también los morteros de cal aérea y se validó con muestras tomadas de monumentos de Italia Bélgica y España.

Una de las causas de deterioro de morteros y hormigones hay que situarla en los contaminantes atmosféricos que al interaccionar con los materiales de construcción, tanto naturales (piedras) como artificiales (morteros, ladrillos, etc.) aceleran su degradación.

Con el fin de modelizar esta interacción, se han llevado a cabo estudios en cámaras climáticas que simulan ambientes agresivos. En este contexto se trabajó en dos proyectos europeos estudiando el mecanismo de interacción de de

morteros de cal, cal y puzolana y morteros de cemento con gases contaminantes (SO_2 , NO_x) a distintas concentraciones, tomando como variables la adición de agua y el efecto de oxidantes (ozono). Se establecieron las ecuaciones que determinan las velocidades de interacción de los diferentes agresivos con los materiales de construcción en términos de mg de contaminante $\text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$. Se establecieron igualmente las reacciones en las distintas etapas por las que transcurría la mencionada interacción. Los procesos de deterioro de los morteros con los contaminantes gaseosos se estudiaron a través de las sales formadas y depositadas en los mismos, que dependen de la composición del mortero y del gas contaminante.

Desarrollo de morteros de reparación

Tras el diagnóstico y una vez conocida la causa del deterioro de la obra a conservar con frecuencia solo se pueden tomar medidas que palien los efectos. Cabe pues pensar en desarrollar morteros de reparación con propiedades específicas mejoradas.

Uno de los aspectos que hay que tener en cuenta en el proceso de construcción y por supuesto en el de reparación de elementos constructivos deteriorados es la compatibilidad de materiales. Esta compatibilidad ha de ser no solo de tipo químico, es decir materiales estables y que no reaccionen entre sí, sino también respecto de propiedades físico-mecánicas como resistencias, módulo elástico, coeficientes de dilatación térmica e hídrica estabilidad de volumen, etc.

Un ejemplo claro es el deterioro de mosaicos expuestos a la intemperie en climas templados, en los que la principal causa de deterioro de la superficie de las teselas suele ser la colonización biológica. Dicha colonización comienza en el material más poroso y que retiene agua por más tiempo, es decir por el mortero y desde allí se extiende a las teselas, en general menos porosas. Es claro que las medidas de protección han de ir encaminadas a dotar al mosaico de propiedades biocidas y para ello el mercado ofrece productos de impregnación con tales propiedades. Una opción de mayor carga tecnológica ha sido el desarrollo de un mortero de reparación de naturaleza compatible con el de la obra a reparar y con propiedades biocidas en masa, no solo en superficie, como modo de prolongar el tiempo efectivo de la propiedad.

Nuestro grupo ha desarrollado un mortero en base cal, en el que distintos biocidas se incorporaban al mismo adsorbidos en sepiolita.

Otra de las causas de deterioro de los morteros de cal es su baja resistencia a las heladas, en este sentido se han desarrollado otros morteros que son más hidrófobos y con distribución de tamaño de poros optimizada, ello se consiguió utilizando como ligante una mezcla de cal y metacaolín al que además se le añadió un aditivo.

Por otro lado, en épocas históricas los morteros empleados estaban basados exclusivamente en el uso de cal y arena, o en cal con materiales hidráulicos y arena. Estos morteros se adaptaban perfectamente a los materiales del momento de acuerdo a sus necesidades. Con el cambio habido en los morteros y en concreto con la aparición de los cementos Portland, la fabricación de los morteros tradicionales cayó en desuso, siendo sustituidos por mezclas con

cementos hidráulicos. Esto ha provocado en muchos casos un deterioro acelerado del material histórico que lo recibía. La investigación dirigida hacia la recuperación de los morteros tradicionales supone una gran restitución y buena práctica para el Patrimonio Histórico. Existen materiales, como son las puzolanas, que tienen una gran repercusión en la fabricación de los cementos actuales, pero que sin embargo han perdido su uso tradicional en morteros de cal o morteros romanos. La aplicación inmediata de estos morteros fue en la restauración de la Alameda de Osuna de Madrid y distintas colaboraciones con empresas, destacando el estudio del deterioro de los materiales existentes en el Palacio de Comunicaciones de Madrid y los morteros del Monasterio de Yuste.

Otra característica que puede requerir control es el color ya que con frecuencia se realizan reparaciones con morteros cuyo color ha de ajustarse a unos valores cromáticos. Tras la labor de caracterización de los pigmentos originales usados en la obra a reparar se tratará de desarrollar morteros con color similar usando pigmentos estables en el medio fuertemente básico que suelen tener los morteros. Ejemplos de desarrollos en este sentido son los morteros diseñados para las restauraciones, ya mencionadas, en la Alameda de Osuna y en Monasterio de Yuste.

Desarrollo y validación de productos de conservación de materiales pétreos

La conservación de los materiales en monumentos requiere con frecuencia la aplicación de productos tales como consolidantes hidrofugantes, antigraffiti etc. La idoneidad de estos tratamientos se suele evaluar mediante el estudio de la modificación de las propiedades físicas de substratos pétreos tras la aplicación de los mismos (propiedades hídricas, color y brillo, porosidad y permeabilidad) y de su durabilidad (ciclos hielo deshielo, radiación UV, cristalización de sales etc).

En coordinación con diferentes grupos de investigación de Salamanca, Sevilla y Madrid, se iniciaron los trabajos de investigación que, desde un marco de Proyecto EUROCARE, consistían en el estudio de los materiales pétreos existentes en las Catedrales de Salamanca, Sevilla y Toledo.

Así, las labores del Instituto Eduardo Torroja se basaban, entre otras, en el estudio de la piedra arenisca de Villamayor, de donde proceden los materiales empleados en la mayoría de monumentos salmantinos, y por consiguiente utilizada en la edificación de las Catedrales de Salamanca, investigando el efecto que sobre este tipo de material pétreo tenían distintos agentes de consolidación e hidrofugación comerciales.

También, este tipo de investigaciones se han propuesto en estudios más recientes en la restauración de la Torre del Oro en Sevilla

Nuestro grupo además realiza estudios para conocer las interacciones moleculares entre los tratamientos de conservación (consolidantes, hidrofugantes, *antigraffitis*) y las superficies de materiales pétreos a través de técnicas espectroscópicas (Raman, FTIR y RMN) y termogravimetría. A su vez hemos establecido metodologías de estudio que permiten a través de diferentes técnicas instrumentales, correlacionar la capacidad protectora (hidrofugante, antigraffiti, etc.) conferida por productos comerciales a materiales pétreos con su estructura molecular;

Por otra parte y en colaboración con el ICV hacemos estudios de las energías superficiales y determinamos los centros activos de las superficies de los materiales de construcción, que permitan conocer el tipo de interacción eficaz con cada uno de los tratamientos.